

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 10100089
 PUBLICATION DATE : 21-04-98

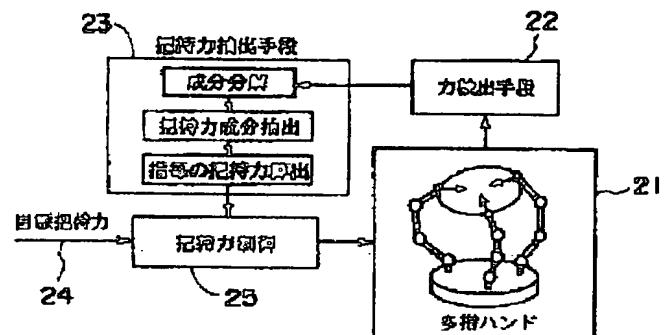
APPLICATION DATE : 04-08-97
 APPLICATION NUMBER : 09209464

APPLICANT : YASKAWA ELECTRIC CORP;

INVENTOR : UMETSU MAYUMI;

INT.CL. : B25J 15/08

TITLE : GRASP CONTROL METHOD OF
 ARTICULATED MULTI-FINGER HAND
 AND OBJECT GRASPING METHOD



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To set an object position where fingers are contacted with a grasping article in the method not necessary to calculate the fingers position, and to reflect it securely to the force generated actually by the object force of a compliance control.

SOLUTION: When an object is grasped by the fingertips of two to four fingers, in the grasp and control method of a hand having articulated fingers, the forces of the fingertips of the grasping fingers used for grasping are detected by a force detecting means 22, the vectorial direction component directing to the other grasping finger of each finger is extracted, fingers having the same component of the extracted vectorial direction of the fingers are made in a pair of set, only the part to offset each other in the sets of the force is considered as the grasping force, and by using a grasping force extract means 23 in which the total forces of the components considered as the grasping force is made as the grasping force generated by the fingers, a force control or a compliance control is carried out to follow the grasping force obtained by the means 23, to the object grasping force 24.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-100089

(43)公開日 平成10年(1998)4月21日

(51)Int.Cl.⁶
B 25 J 15/08

識別記号

F I
B 25 J 15/08

U
J

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平9-209464
(22)出願日 平成9年(1997)8月4日
(31)優先権主張番号 特願平8-206077
(32)優先日 平8(1996)8月5日
(33)優先権主張国 日本 (JP)

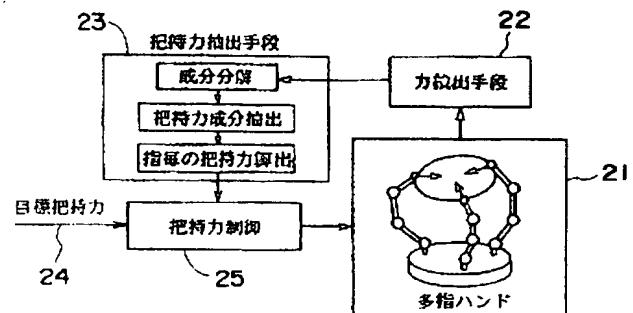
(71)出願人 000006622
株式会社安川電機
福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
(72)発明者 梅津 真弓
福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
株式会社安川電機内
(74)代理人 弁理士 小堀 益

(54)【発明の名称】 多関節多指ハンドの把持制御方法及び物体把持方法

(57)【要約】

【課題】 指位置を算出する必要がない方法で指が把持物体と接するような目標位置を定め、コンプライアンス制御の目標力が実際に発生する力に正確に反映されるようとする。

【解決手段】 多関節指を複数有するハンドの把持制御方法において、2本ないし4本指の指先で物体を把持するにあたり、把持に用いる把持指の各指先力を力検出手段22で検出し、各指先力について他の把持指に向かうベクトル方向成分を抽出し、各指で抽出された前記成分のベクトル方向が同じものを一对の組とし、その力の組で相殺し合う部分のみを把持力とみなし、把持力とみなした成分を該当する指で合計したものをその指の発生する把持力とする把持力抽出手段23を用い、この把持力抽出手段23で得られた把持力が、目標とする把持力24に追従するように力制御もしくはコンプライアンス制御を行う。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ハンドによって物体を把持するロボットにおいて、ハンドに加わる外力を力検出手段により検出し、前記力検出手段により検出された外力が増大した時に前記ハンドの把持力を増加させることを特徴とするハンドの把持制御方法。

【請求項2】 多関節指を複数有するハンドの把持制御方法において、2本ないし4本指の指先で物体を把持するにあたり、把持に用いる把持指の各指先力を検出し、各指先力について他の把持指に向かうベクトル方向成分を抽出し、各指で抽出された前記成分のベクトル方向が同じものを一対の組とし、その力の組で相殺し合う部分のみを把持力とみなし、把持力とみなした成分を該当する指で合計したものをその指の発生する把持力とする把持力抽出方法を用い、この把持力抽出方法で得られた把持力が、目標とする把持力に追従するように力制御もしくはコンプライアンス制御を行うことを特徴とするハンドの把持制御方法。

【請求項3】 力検出手段を備えた多関節指を複数有する多関節多指ハンドの各指をコンプライアンス制御する制御方法において、物体を把持するために指を閉じていく動作の過程で各々の指の検出力を監視し、検出力によって指が物体に接触したことを検知した時点で、指の前記動作を停止させることによって指位置を定め、全ての指が前記の手順で位置を定めたあと、把持力を発生させて物体を把持することを特徴とする多関節多指ハンドの物体把持方法。

【請求項4】 力制御手段を備えた複数のロボットハンドの指先端部で物体を挟んで保持するにあたり、各指先端部が物体を挟んで釣り合う力を指先端部の位置に基づき計算する条件式を予め定め、物体を保持している間は、前記指先端部の位置を検出し、前記検出位置と釣り合い条件式から把持力発生の目標値を生成することを特徴とする多関節多指ハンドの物体把持方法。

【請求項5】 複数のマニピュレータの先端を多関節多指ハンドの先端とみなし、請求項4記載の物体把持方法を適用して、把持力発生の目標値を生成することを特徴

$$F_0 = W \begin{bmatrix} F_1 & F_2 \end{bmatrix}^T \quad (1)$$

$$W = \begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix}$$

と表される時、 F_1 と F_2 をそれぞれの外力成分 F_{10} 、 F_{20} と内力成分 F_{11} 、 F_{22} に分解するのに、 W の疑似逆行

$$[F_{10} \ F_{20}]^T = W \# F_0 \quad (2)$$

$$[F_{11} \ F_{22}]^T = [F_1 \ F_2]^T - [F_{10} \ F_{20}]^T \quad (3)$$

として求めるものである。ここで疑似逆行 $W \#$ とは、

$$W \# = W^T (W \ W^T)^{-1} \quad (4)$$

であるので、式2の数値では、 $W \# = [1 \ 2 \ 1 \ 2]^T$ となり、式3によつて合力 F_0 が F_{10} と F_{20} に均等に配分される。式4によつて内力成分を求め、これを把持力とする。ところが、上記の方法では始めに外力を配分してから残りを把持力とするため、外力と把持力が

とする物体把持方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ハンドによって物体を把持するロボットの把持制御方法及び多関節多指ハンドの物体把持方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来においては、ロボットのハンド装置によって物体を把持するとき、把持力は予め決めてしまつて調節しないようになつてゐた。しかしこれでは、把持した物体に外界から力が加わると、把持力が十分でないときにはハンドと把持物体との間で滑りが生じて把持状態を保つことができず、物体を放してしまつ。このような問題を解決するために、例えば、特開平4-322990号公報には、外力が加わつた時、位置制御手段及び力制御手段の制御対象となる把持指の制御手段を切り換えて位置及び力の制御を行う制御方法が開示されてゐる。しかしながら、この制御方法では、ハンドの把持指の制御方法を条件によって切り換えるので、切り換え時に動作が不連続になる恐れがあり、また把持指が2本指より増えた場合には切り換え条件が煩雑になるという問題があつた。

【0003】一方、図6(a)のように、多関節多指ハンド(以下単に「多指ハンド」という)の指先で物体を挟んで把持するとき、把持力 F_{11} と F_{22} を十分働かせることによって摩擦力を大きくし、横方向から外力 F_{ex} が加わつても滑りが生じないようにすることができる。ここで、把持力とは、把持を行う指の間で釣り合つて、合力を生じない力をいう。図6(b)のように、外力と把持力が同方向に働いて干渉する場合にも、さらに横方向の外力が加わることは当然想定されるので、把持力は必要である。この場合、実際に指が発生している力のうち把持力はどれだけかを求める、目標の把持力となるように制御しなければならない。指の発生している力を外力と把持力に分解する時、従来は、疑似逆行列を使った計算方法によつて行つてゐた。この方法は、1自由度の場合、力 F_1 と力 F_2 において、合力 F_0 が

$$F_0 = W \# F_0 \quad (式1)$$

$$(式2)$$

列 $W \#$ を使った数学的解法で

$$(式3)$$

$$(式4)$$

$$W \# = W^T (W \ W^T)^{-1} \quad (5)$$

相殺し合うような、実際には発生していない力を結果として算出する場合がある。図6(c)のように、指1が下方向に大きさ3の力 F_1 、指2が上方向に大きさ1の力 F_2 を発生して、上方向の大きさ2の外力 F_{ex} と釣り合つてゐる時、上記の計算によれば、上方向を正方向と

すると式1より合力 F_0 は $F_0 = -2$ であり、式3より $F_{10} = F_{20} = -1$ 、式4より $-F_{11} = F_{21} = 2$ となり、大きさ2の把持力が発生しているように計算される。しかし、指2で実際には大きさ1の力しか発生していない。計算通りの力が実際には働いていないので、外力 F_{ext} が変化して横方向の成分が加わると、指2と物体との間に予想外の滑りが生じて物体を把持し続けることができず、物体を落としてしまうこともありうる。このように、従来の計算方法に基づいて把持力を制御しようとすると、実際には予想通りの力は発生せずに、外乱に弱い把持状態となってしまう問題があった。

【0004】さらに、多関節多指を有するロボットハンドの各指をコンプライアンス制御し、その指で物体を把持すると、外界からの干渉力で把持状態が多少変わっても、コンプライアンス制御の実現する多自由度の剛性によって対応し、把持し続けることができる。コンプライアンス制御では、目標力 F_d と検出力 F および目標位置 X_d と実位置 X について、静的には $K(X - X_d) = F - F_d$ なる関係にあるよう制御を行う。ここで、Kは仮想的な剛性係数である。この関係を利用して物体を把持する場合、指の目標位置と実際に把持するときの指の位置にずれがあると、目標力と実際に発生している力にもずれが生じる。したがって、指をコンプライアンス制御している場合に目標力として指令した力で物体を把持するには、指が目標位置で物体と接している状態が理想である。ところが多種多様な物体を把持する場合、物体の形状に応じて指の目標位置を設定しなければならない。物体の正確な形状がわからない場合には、物体を小さく見積るか、目標力を大きめに見積ることによって、把持に必要な力を発生させることができるが、見積りが足りないと十分な把持力が発生できず、また見積りが過ぎると過大な力が発生してしまうという問題がある。また、物体の形状がわかっていても、ちょうど物体表面に接するような指位置を算出するには、物体の数値的な形状情報が必要で、指位置を算出するための計算量も多い。

【0005】さらに、複数のロボットハンドの各指を物体を挟んだ状態で保持しながら作業を行うには、ロボットハンドの各指の発生する力によって保持状態を制御しつつ、ロボットハンドを動作させる必要がある。このとき、各ロボットハンドで物体を保持する力は、予め決められた力の大きさと方向を制御装置によって制御していた。ところが、作業を行なう際には、環境情報の誤差や外部との干渉によって、保持物体とロボットハンドの指間に転がりや滑りが生じ、ロボットハンドの指の位置がずれることがある。また、保持状態を変えるために、指先端で物体を支える位置をずらす場合もある。このとき、位置がずれることによって指間の力のつり合いが崩れ、発生すべきではない合力が生じたり、またこの合力によって回転などの予期しない運動が生じたりする、という

問題があった。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明の第1の解決課題は、把持した物体に外界から力が働いたときに、ハンドと把持物体の間に滑りが生じるのを防いで把持状態を保つことにある。本発明の第2の解決課題は、指位置を算出する必要がない方法で指が把持物体と接するような目標位置を定め、コンプライアンス制御の目標力が実際に発生する力に正確に反映されるようにすることにある。本発明の第3の解決課題は、把持している物体や指に外界から力が働いても、正しく把持力を発生させて、把持状態を保つことのできる制御方法を提供することにある。本発明の第4の解決課題は、不都合な合力を生じたり、この合力によって回転などの予期しない運動が生じるのを防止することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】第1の課題を解決するための手段は、ハンドによって物体を把持するロボットにおいて、ハンドに加わる外力を力検出手段により検出し、前記力検出手段により検出された外力が増大した時に前記ハンドの把持力を増加させることを特徴とするハンドの把持制御方法である。把持力を増加させることによって、ハンドと把持物体との間にではなく摩擦力が増加するため、外力が把持物体に作用した場合でもハンドと把持物体との間に滑りが生じることを防ぎ、物体を把持し続けることができる。第2の課題を解決するための手段は、多関節指を複数有するハンドの把持制御方法において、2本ないし4本指の指先で物体を把持するにあたり、把持に用いる把持指の各指先力を検出し、各指先力について他の把持指に向かうベクトル方向成分を抽出し、各指で抽出された前記成分のベクトル方向が同じものを一对の組とし、その力の組で相殺し合う部分のみを把持力とみなし、把持力とみなした成分を該当する指で合計したものをその指の発生する把持力とする把持力抽出方法を用い、この把持力抽出方法で得られた把持力が、目標とする把持力に追従するように力制御もしくはコンプライアンス制御を行うことを特徴とするハンドの把持制御方法である。上記手段により、実際に発生している指先力から把持力を抽出し、この把持力が目標とする把持力に追従するように制御するので、外界から力が働いた場合にも把持指と把持物体との間に力が働いて摩擦力を発生させて、滑りが生じずに把持状態が保たれる。第3の課題を解決するための手段は、力検出手段を備えた多関節指を複数有する多指ハンドの各指をコンプライアンス制御する制御方法において、物体を把持するにあたり指を閉じていく動作の過程で各々の指の検出力を監視し、検出力によって指が物体に接触したことを検知した時点で、指の前記動作を停止させることによって指位置を定め、全ての指が前記の手順で位置を定めたあと、把持力を発生させて物体を把持することを特徴とす

る多指ハンドの物体把持方法である。各指の検出力を監視することによって指が他の物体に触れたことを検知でき、この時点での位置を定めることによって指が物体にちようど接触する位置に決まる。ハンドの全ての指がこの動作を終了すればハンドの各指が同様に物体表面に接触する位置に定まることになり、ここで力を発生させることによって、コンプライアンス制御の目標力が実際に発生する力に正確に反映される。第4の課題を解決するための手段は、力制御手段を備えた複数のロボットハンド指先先端部で物体を挟んで保持するにあたり、各指先端部が物体を挟んでつり合う力を各指先端部の位置に基づき計算する条件式を予め定め、物体を保持している間は、前記指先端部の位置を検出し、前記検出位置とつり合い条件式とから把持力発生の目標値を生成するものである。上記手段により、力を発生する各指の先端部の位置に応じて、力のつり合い条件を満たすように力制御がなされるため、指先端部の位置に予期しないずれが生じた場合にも力のつり合いが保たれ、安定して動作を続けることができる。

【0008】

【発明の実施の形態】以下、本発明を、図面に示す実施例に基づいて説明する。図1は、本発明の第1実施例のブロック図である。ロボットハンド1には力検出器2と把持力を制御できるアクチュエータ3が備わっており、力検出器2により検出される外力 F_e が増大すると、把持力 F_g を増加させるよう、 $F_g = F_{g0} + K_f \cdot F_e$ という把持力制御則4にしたがって、把持力制御器5により把持力を制御する。この式で、 F_{g0} は外力 F_e がゼロのときの把持力に当たり、 K_f は把持力を増加させる程度を表すゲインである。

【0009】図2は、本発明によって制御されるロボットハンドの第1の構成例である。グリッパ型のハンド1-1の基底部に力センサ2-1が設置されており、ハンド1-1に加わる外力を検出する。グリッパの開閉を行うアクチュエータ3とその制御装置にて把持力 F_g を制御する。ここでいう把持力とは、図に示すような、指間で物体を挟み込む力 F_g であり、合力ゼロとなる力である。したがって、力センサ2-1では外界からハンド部に加わる力のみ検出される。

【0010】図3は、本発明によって制御されるロボットハンドの第2の構成例である。ユニバーサル型の多指ハンド1-2の、物体を把持するそれぞれの指先に力センサ2-2、2-3が取り付けてある。このハンドの制御装置においては、それぞれの力センサ2-2、2-3で検出された指先力 F_i ($i = 1 \sim$ 指の本数) の総和をとることによって外力は $F_e = \sum F_i$ として求められる。また、各指の関節を駆動するアクチュエータとその制御装置にて把持力 F_g を制御する。本発明のハンド制御装置によって図2及び図3のハンドが制御されると、外界からハンド部に働く力の増加に伴って、物体を挟み込む

把持力が増加する。把持力が増加することによって、ハンドと把持物体との間に作用する摩擦力が増加し、外界からの力でハンドと把持物体との間に滑りが生じることを防ぐことができ、把持状態が保たれる。またこの制御装置によれば、物体の重量は力センサによって外力とみなされるので、重量の大きい物体ほど大きい把持力を発生させ、軽い物体を把持するときはより少ない把持力で把持するため、ハンドのアクチュエータの出力を効率的に制御する効果もある。

【0011】図4は本発明の第2実施例を示すブロック図、図5は第2実施例における把持力抽出方法の説明図である。図4において、多指ハンド1の三本指で物体を把持する時、ハンドに備えた力検出手段2-2によって、各指先の発生している力を検出する。検出された力から、把持力抽出手段2-3によって把持力成分が取り出されると、この把持力が目標把持力2-4に従うよう、把持力制御2-5が指先の発生把持力を制御する。制御方法としては、目標把持力と抽出された把持力の差分をとつて、足りない力を加える、または、余分な力を減じるようする手法や、インビーダンス制御の応用手法を使う方法がある。以下、図5で把持力分解方法を説明する。三本指の指先1-1、1-2、1-3において、図5(a)の太矢印で示した力が力検出手段2-2によって検出された時、指先1-1では他の指先1-2、1-3に向かう方向成分1-1-2と1-1-3に分解する。指先1-2および1-3でも同様に他の指先に向かう方向成分1-2-1と1-2-3、および1-3-1と1-3-2に分解する。指先1-1から指先1-2に向かう力成分1-1-2と、指先1-2から指先1-1に向かう力成分1-2-1は、ベクトル方向が同じ一対の組とし、同様に1-2-3と1-3-2、1-3-1と1-1-3は組である。これら力の組において、相殺し合う部分のみを把持力とみなす。図5(b)に示す太矢印が、相殺し合う部分である。1-1-2と1-2-1の組、1-2-3と1-3-2の組では力が向き合う方向に働いているので相殺する成分があって、これを把持力とみなすが、1-3-1と1-1-3の組では力が同方向に働いているので力は相殺されず、従って把持力とはみなさない。これらの把持力成分を各指先で合計したものが各指先における把持力で、図5(c)の太矢印で示した。以上、三本指の実施例を説明したが、この場合、成分分解によって得られるベクトルの方向が同じ3対の力の組から把持力を抽出した。同様にして、二本指の場合は1対の組、四本指の場合は6対の組から、把持力を抽出でき、把持状態を制御することができる。

【0012】図7は、本発明の第3実施例のブロック図である。ロボットハンド3-1には力検出器3-2と把持力を制御できるアクチュエータ3-3が備わっており、力検出器3-2で検出された力 F_g は目標力指令発生部3-6より送られた目標力 F_g と比較されコンプライアンス制御則3-4に送られ、コンプライアンス関係により位置変位量 ΔX が生成される。この変位量は目標位置指令発生部3-

7より送られた目標位置 X_4 に加算され、位置制御部35によって実際の位置が X となるようハンドのアクチュエータが制御されて、コンプライアンス制御が行われている。

【0013】図8は、本発明の方法で物体を把持する方法を示す模式図である。指先を矢印の方向に動作させてロボットハンド31の指先で把持対象物体38を挟み込むように動作させる時、上記のハンド装置の目標位置指令発生部37では、制御周期毎にハンドの目標位置 X_4 を動作軌道に沿って更新すると同時に、検出力の監視を行い、目標力指令発生部36の指令する目標力はあらかじめ定めた閾値 F_0 に設定しておく。指が物体38に当たると、ハンドの指に備えた力検出器32によって力が検出され、目標位置指令発生部37では、検出力が前記閾値 F_0 を越えた時に指と物体が接触したと認識し、この時点で対応する指の目標位置の更新を停止することによって、物体を把持するための指の目標位置を決定する。こうして全ての指の目標位置が決定された時点で、目標力指令発生部36から把持に必要な目標力 F_0 を指令することによって、把持力を発生させる。

【0014】図9は、本発明の第4の手段を実施するための実施例のブロック図である。多指ロボットハンド41は、エンコーダなどの位置検出部44と、指先に備えた力センサなどの力検出部42と、関節駆動部43とを備えている。制御演算部45は、前記位置検出部44と力検出部42から得られる関節変位 θ と指先力 F を帰還しながら、各指の目標位置 X_4 と指先目標力 F_0 に基づき、指の関節の駆動指令 ω を計算して関節駆動部43に出力する。目標位置生成部46は、ロボットハンド41の運動を指令するため、目標位置 X_4 を生成して出力する。目標力生成部47は、ロボットハンド41の各指先が発生する力を指令するため、目標力 F_0 を出力する。ここで、目標力生成部47は、把持力司令部48と目標力生成演算部49とつり合い条件演算部50とからなり、前記の多指ハンドが各指先を使って物体を挟んで保持するために、次の方法で目標力を生成する。把持力指令部48は、把持力の大きさ f とつり合い条件演算部50に対してつり合い条件演算式を指令する。これらが与えられると、目標力生成演算部49は、各指先の位置 X と把持力の大きさ f から、前記条件演算式に従って、前記目標力 F_0 を計算し、制御演算部45に出力する。ここで用いる X は、制御演算部45の中で関節変位 θ から計算される、実際の指先位置である。

【0015】図10は、図9の把持力指令部48からの把持力指令によって指令されるつり合い条件の一説明図であり、3本指ハンドの各指先51、52、53で、直方体の物体54を挟み込んで保持している状態を表す。図のように、指先51が52と53に向き合って物体54を挟んでいるとき、矢印で示した方向に把持力を発生させたい。把持力 f で挟み込むには、指先51に力 f を

発生させ、それに向き合ってつり合う力を指先52と53に発生させる。このとき、力がつり合って合力と合モーメントを零にするために指先52と53で発生させる力の配分は、各先端部の位置関係に依存する。力をつり合わせるには、(a)に示す位置関係(指先51の位置が52と53に対して1対1の距離にある)の場合は、指先52と53にそれぞれ力 $f/2$ の力を発生させる。図10(b)に示す位置関係(指先51の位置が指先52と53に対して2対1の距離にある)の場合は、指先52に $f/3$ 、指先53に $2f/3$ の力を発生させる。これらの力配分は、各指先位置を検出することで計算することができる。図10に示した力のつり合わせ方は一例であり、物体や状況に応じて、力の方向の決め方は様々あるが、つり合う力を各指先に発生させるには、先端部の位置関係に応じて力を配分する必要があるのは同様である。把持力指令部48からの把持力指令は、図10のような位置と力のつり合い条件を、各指先位置から該指先の発生すべき力を計算する演算式として指令し、これに基づいて目標力生成演算が目標力生成演算部49において行われる。

【0016】

【発明の効果】以上述べたように本発明の第1の手段によれば、外力の増大に伴って把持力を増加させているので、把持した物体に外界から力が働いたときに、ハンドの把持力が増加してハンドと把持物体の間の摩擦力が増加し、ハンドと把持物体の間に滑りが生ずるのを防いで把持状態を保つことができる。本発明の第2の手段によれば、実際に発生している力から把持力を抽出し、これが目標把持力に従うように把持指を制御するので、外界から力が働いた場合にも把持指と把持物体との間に力が働いて摩擦力を発生させて、滑りが生じずに把持状態が保たれるという効果がある。本発明の第3の手段によれば、検出力を監視することによって指が把持対象物体に接触したことを検知し、その時点で指位置を決定するので、あらかじめ把持する物体の寸法がわかっていない場合にも、指が物体表面に触れる位置に指の目標位置を定めることができ、コンプライアンス制御の目標力が実際に発生する力に正確に反映される。本発明の第4の手段によれば、ロボットハンドの指先やハンドの各指の位置の変化に応じて、つり合う力を把持力として発生するよう制御されるので、発生すべきではない合力が生じたり、またこの合力によって回転などの予期しない運動が生じたりするのを防ぐことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1実施例における制御ブロック図である。

【図2】 本発明の第1実施例によって制御されるハンドの第1の構成図である。

【図3】 本発明の第1実施例によって制御されるハンドの第2の構成図である。

【図4】 本発明の第2実施例を示すブロック図である。

【図5】 本発明の第2実施例における把持力抽出方法の説明図であり、(a)成分分解方法の説明図、(b)把持力成分抽出の説明図、(c)指毎の把持力算出の説明図である。

【図6】 把持力の説明図であり、(a)把持力の効果の説明図、(b)外力と把持力が同方向に働く場合の説明図、(c)本発明が解決しようとする課題の説明図である。

【図7】 本発明の第3実施例における装置のブロック図である。

【図8】 本発明の第3実施例における物体把持方法の説明図である。

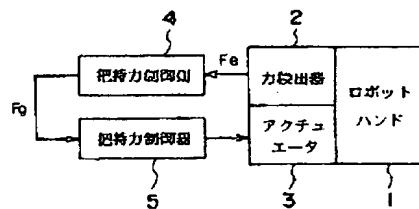
【図9】 本発明の第4実施例を示すブロック図である。

【図10】 本発明の第4実施例におけるつり合い条件の説明図である。

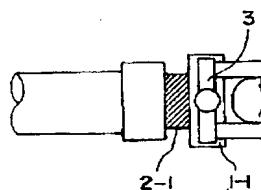
【符号の説明】

1 ロボットハンド、1-1 グリッパ型ロボットハンド、1-2 ユニバーサル型ロボットハンド、2 力検出器、2-1 力センサ、2-2 指先力センサ1、2-3 指先力センサ2、3 ハンド駆動アクチュエータ、4 把持力制御則、5 把持力制御器、11, 12, 13 多指ハンドの指先、21 多指ハンド、22 多指ハンドの力検出手段、23 把持力抽出手段、24 目標把持力、25 把持力制御、31 ロボットハンド、32 力検出器、33 ハンド駆動アクチュエータ、34 コンプライアンス制御則、35 位置制御部、36 目標力指令発生部、37 自標位置指令発生部、38 把持対象物体、41 多指ロボットハンド、42 力検出部、43 関節駆動部、44 位置検出部、45 制御演算部、46 目標位置生成部、47 目標力生成部、48 把持力指令部、49 目標力生成演算部、50 つり合い条件式演算部、51~53 3本指を備えた多指ハンドの各指先、54 把持物体

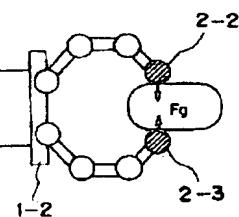
【図1】



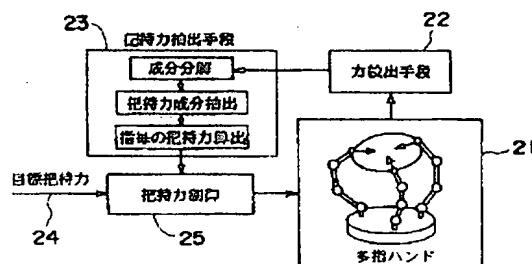
【図2】



【図3】



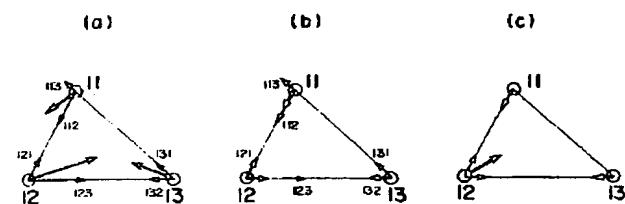
【図4】



(a)

(b)

(c)

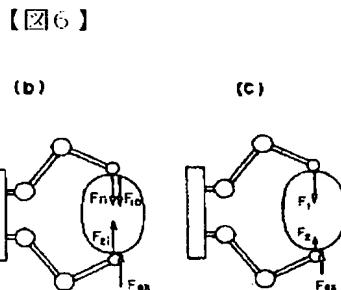


【図5】

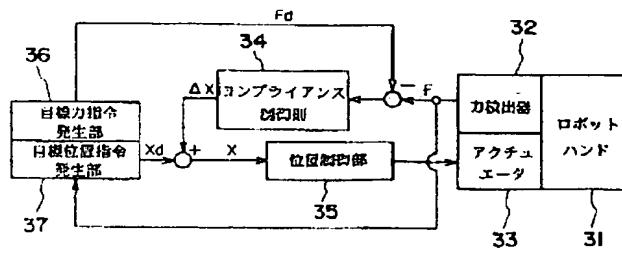
(a)

(b)

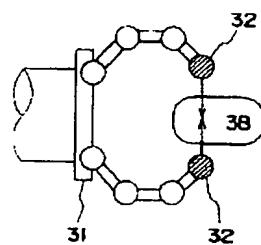
(c)



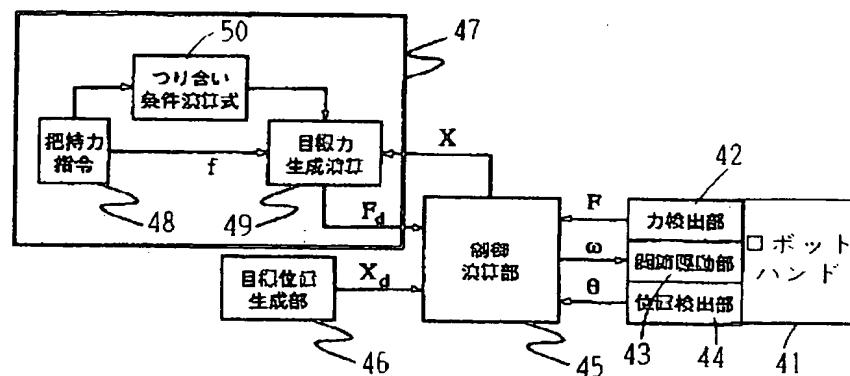
【図7】



【図8】



【图9】



【図10】

